地下工程施工监测数据管理的研究

杨林德　　包玮瑜　　盛东健
(同济大学地下建筑与工程系，上海，200092)　　(上海市建工集团，上海，200020)

提　要　本文介绍作者对地下工程施工监测的数据管理建立的方法，内容包括对监测物理量分类叙述量测数据取值的计算方法，对用于数据整理的主要分析方法，如物理量间关系的回归分析、趋势项的提取和安全性预测、数据显示形式及工程施工安全性监测的报警机制等的扼要介绍，以及根据对监测数据进行管理的要求研制的一类计算机管理程序的流程、界面、数据库结构和编程语言实现等的较为详细的叙述。工程应用表明这类软件对顺利实现施工监控很有帮助，并有良好的应用前景。

一　概　述

地下工程施工过程中，对土层性状、支护结构工作状态和周围环境条件的变化常需进行观测与分析，并将结果及时反馈，以确保工程施工的安全性。

地下工程的施工监测通常都有内容多、时间长，数据量大，类型多，处理方法难易程度不同和工作量等特点，对其采用人工方式进行处理不仅易于出错，而且很难实现及时快速反馈。因此，借助计算机数据管理程序对监测数据完成数据输入、处理、输出和信息反馈非常必要。

本文叙述作者对监测数据进行分类、计算和分析建立的方法，以及借助程序软件实现对量测数据进行管理的技术。

二　施工监测的数据整

1. 量测数据取值的计算方法

量测数据取值时采用的计算方法一般为：

(1)位移量量测。位移量量测获得的多为直接测读的尺度类数据，多为算术计算。

(2)应力量测和应变量测。量测这类物理量时仪表读数多为频率、电阻和应变等。其中多数需在乘以仪器标定系数才能得到测试物理量。

(3)结构内力的量测。量测结构内力时，直接获得的物理量仍为第一、第二类监测的物理量，结构构件的内力值需由理论公式算得。

2. 数据整理的分析方法

工程实践中，对量测数据进行处理的常用方法有：

(1)物理量间关系的回归分析。这类工作指对物理量之间关系的表述建立回归方程，

包括给出方程的数学形式和对参数的估计。常用方法为按多项式回归在二个物理量之间建立回归方程，并由最小二乘法原理给出参数估计。

(2)趋势项的提取和安全性预测。工程实践中，进行数值分析时常需对由现场量测数据标绘获得的实测曲线采用多项式函数作拟合，并将与之相应的曲线项称为趋势项，及将与趋势项的差值项称为随机项。以下以位移量为例叙述在采用多项式函数图形逼近实测曲线的前提下，依据最小二乘法原理提取趋势项的原理与计算公式。

将其随时间而变化的一组观测值视作一随机序列，其中某一时刻的位移观测值 u_j 为位移随机变量的一个样本。根据中心极限定理，量测值可表示为：

$$u_j = \overline{u}_j + \varepsilon_j \tag{1}$$

式中 u_j 和 $\overline{u}_j$ 分别表示 t_j 时刻的位移量测值及其趋势项； ε_j 为服从高斯分布的随机项，其均值为 0，方差为 σ^2，且在不同的时刻，随机项不具相关性。

采用多项式逼近常可得到较好的结果。由此可将位移量与时间的关系式表达为

$$u(t) = y = u^* + \varepsilon = a_0 + a_1 t \ + a_2 t^2 + \cdots a_n t^n + \varepsilon \tag{2}$$

式中 u*为趋势项； ε 为随机项； $a_0, a_1, a_2, \cdots, a_n$ 为待定系数； n 为多项式阶数，有 $1<n<k$，k 为量测值个数。由此式可得

$$\{\varepsilon\} = \{Y\} - [X]\{A\} \tag{3}$$

式中 $\{Y\}$ 为由 k 个位移量测值组成的向量； $\{A\}$ 为待定系数向量； $\{\varepsilon\}$ 为随机项向量，$\{\varepsilon\} \sim N(0, \sigma^2 I)$，$I$ 为 k 阶单位阵，σ^2 为方差； [X]为可由时刻序列确定的常系数矩阵。

记上式的随机项平方和为 J_ε，令 $\frac{\partial J_\varepsilon}{\partial a_i} = 0$，则可得到各待定系数的估计量

$$\{\hat{A}\} = \left([X]^T [X]\right)^{-1} [X]^T \{Y\} = \{\hat{a}_0 \quad \hat{a}_1 \quad \cdots \quad \hat{a}_K\}^T \tag{4}$$

对于 t_i 时刻，有

$$\hat{u}_i = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 t + \hat{a}_2 t^2 + \cdots + \hat{a}_n t^n \tag{5}$$

多项式阶数 n 可由 F 检验确定，研究表明通常情况下，令 n=3 已可满足要求。

显而易见，式(5)可用于对任意时刻的位移量作预报。

(3)工程施工安全性监测的报警机制。工程施工监测中，某个物理量的量测值超过警戒值时，通常表明工程施工或周围建构筑物使用的安全性已面临危险，已需引起重视和及时采取有效措施避免发生事故。警戒值常以某一量值的位移量和位移速率表示。

三 数据管理程序的要求与特征

地下工程监测数据管理程序设计鉴于其监测数据一般都有数据量多，类型多、处理方式和输出格式要求均不相同，程序对输出格式的灵活性要求较高，故拟采用将 VFP(Visual Foxpro)和 Excel 结合的方法编制程序。VFP 是一种新型的关系型数据库管理系统，Excel 具有强大的数据输出处理功能，且 Windows 应用程序可直接调用 Excel 并通过 VBA(Visual Basic For Applications)高效地进行数据传送和完成数据处理。

1. 程序流程

程序以 VFP 控制流程，按要求格式输出由 Excel 实现，相应数据由 VFP 的数据库向 Excel 文件传送完成图表处理和打印输出后控制权交还给 VFP。程序框图见图 1。图中有实线、点划线和虚线三条流程线，分别表示程序的三个功能模块：数据输入、数据输出和数据图表形式以及数据分析与处理的模块。

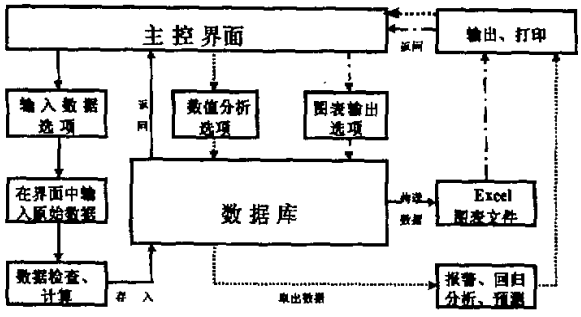


图 1 程序框图

2. 程序界面

程序的系统菜单包含“数据输入”、“数据输出”和“退出”三项，分别进入相应的选项面板组和命令，示例见图 2，可输入相关量测项目的参数和量测数据，并进行计算；可输出各量测项目的图表。程序在 EXCEL 中完成操作后，关闭 EXCEL 即可回到 VFP 中。

3. 数据库结构

各量测项目需各自建立数据表，并需按阶段分原始数据、中间处理数据和结果数据等几级分别建库。各数据表均按日期为主标识，使可根据量测时间和处理阶段实行交叉管理，并可方便地根据要求按阶段输出相应的数据。

4. 报表和图示

工程监测数据的报表可按时间分为日报表、周报表及阶段报表等，或按内容分为原始数据报表、中间结果数据报表和最后结果报表。图示一般有监测量随时间而变化的曲线图和分布图两种。

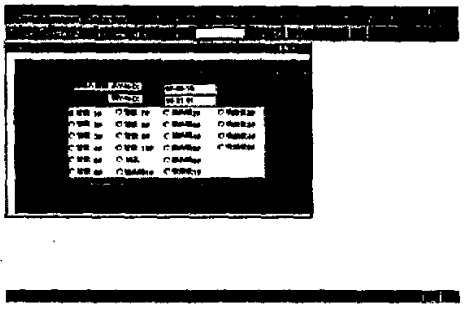


图 2 输入数据选项界面

5. VFP 和 Excel 的数据传送

程序难点是将数据从 VFP 向 Excel 传送，本程序是在 VFP 中将 Excel 作为应用对象启动，图表输出文件中的数据填充和作图等功能则由 Excel 的 VBA(Visual Basic For Applications)控制。以下为 VFP 中的部分关键程序语句:

```
ge_api=createobject("Excel.Application")        启动 Excel, 控制权交给 Excel
ge_api.quit                                     退出 Excel, 控制权交还给 VFP
```

工程监测数据管理程序采用 Visual Foxpro 3.0 中文版和 Excel 5.0 中文版完成，并在 P586 以上机器的 Windows95 环境下试用通过。

四　工程应用实例

监测数据管理程序在上海市豫园大酒店基坑工程的施工监测中得到了应用。该工程位于上海市老城皇庙的繁华地段，开挖深度 10.4m，形状呈不规则矩形。距基坑东侧约 2m 即为已有两百年历史的清真寺，属市级文物保护单位，环境保护要求高，有必要对施工过程进行较全面的监测。

本工程的监测工作获得了大量实测数据，本程序则对诸多原始数据进行了有效的管理，使其便于查找、对比，并在对其进行分析研究的基础上，对基坑开挖施工的优化多次及时形成了指导性意见，有效地保证了基坑开挖的顺利进行。

参考文献

[1] 杨林德、彭敏、马险峰：《地下洞室位移量测的优化布置》，见《同济大学学报》，Vol.23 No.2，1995，4。

[2] 吉小明等：《隧道监测和信息反馈中的计算模型优化问题》，见《地下空间》，1997，2。

[3] 卓宗雄：《学用 VBA 提高 OFFICE 效率》，人民邮电出版社，1996。

[4] 木杉：《Visual Foxpro 3.0 实用参考手册》，科学出版社，1996。